

ハワイの津波堆積物

—標高326mに分布するサンゴを含む海成礫層の成因は？—

片桐 憲一*

馬場 信也**

1. はじめに

近年我々はホノルルマラソンに出かけることを楽しみとしている。もう1つの楽しみは、マラソン後に行う地質巡検である。1998年の巡検地はラナイ島とマウイ島を選んだ。これは、同年夏に「ラナイ島には海拔300m以上まで津波で運ばれた堆積物があり、マウイ島にもこれに類似した堆積物がある」と地質ニュースで読んだからである。行ってみるまでは半信半疑であったが、いくつかの露頭をみるうちに、大きな営力で海底のサンゴを含む礫が地上に運ばれたことは十分あり得ると感じた。津波の原因として、海底火山の噴火・地震・海底地すべり・隕石の落下などの仮説があるが、Moore(1988)モーアたちはハワイ周辺の海底地すべりによって発生した津波が海底のサンゴなどを海拔300m以上まで運んだとしている。小論では我々の巡検の様子と彼らの仮説をあわせて紹介する。

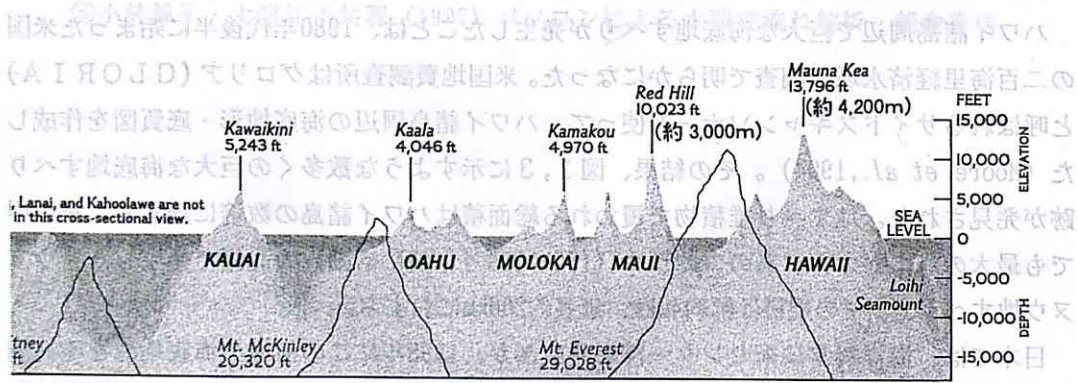
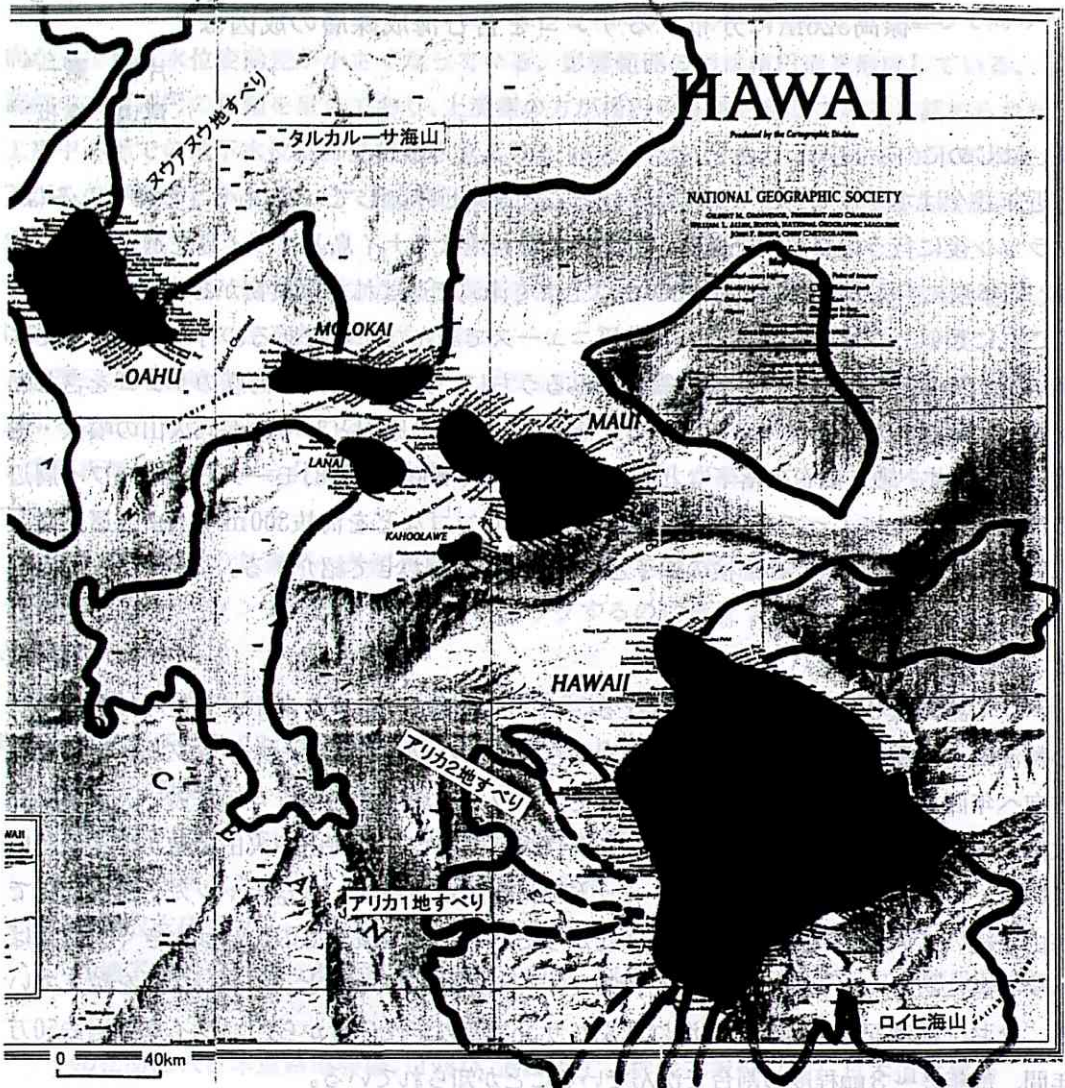
2. 地球科学的にみたハワイ

ハワイ諸島は8つの大小の島からなる。ハワイ諸島は、ホットスポットと呼ばれる点状の熱源により深部からもたらされた溶岩からなる。ハワイを載せた太平洋プレートは北西方向へ年間約10cmの速さで動いているので、ハワイ諸島は北西へ行くほど古い。ハワイ島は南東端に位置するため最も新しく、キラウエア山やロイヒ海山の火山活動が現在も続いている。カウアイ島の北西側には、ミッドウェー諸島が続き、カムチャツカ半島近くまで海山が続いている。ハワイ諸島は海洋底からそれぞれの山頂までの比高は大きく、例えばハワイ島にあるマウナケアでは約32,000フィート(約9,800m)と、エベレストを越えている。なお、検潮記録の解析と深海に沈んだサンゴ礁の年代分析から、ハワイ島は過去50万年間、毎年2~3mm程度の割合で沈んでいることが知られている。

ハワイ諸島周辺で巨大な海底地すべりが発生したことは、1980年代後半に始まった米国の二百海里経済水域の調査で明らかになった。米国地質調査所はグロリア(G L O R I A)と呼ばれるサイドスキャンソナーを使って、ハワイ諸島周辺の海底地形・底質図を作成した(Moore *et al.*, 1994)。その結果、図1, 3に示すような数多くの巨大な海底地すべり跡が発見された。地すべり堆積物で覆われる総面積はハワイ諸島の数倍に達する。その中でも最大のものがオアフ島のコオラウ(150~250万年前に活動)の北側で発生したヌウアヌウ地すべりで、その規模は幅約40km、延長約200kmにおよぶ。

日本では、海洋科学技術センター深海研究部が、1998年にこの海域の海底地形を深海調査研究船「かいらい」で調査し、海底の土を採取した。同センターによれば、『ハワイ諸島にある火山は極めて急速に成長するため、重力的に不安定な高い山が形成される。この

* 株式会社日さく 新潟支店 ** 有限会社エンドレスライン



For information about available maps call toll free 1-800-NGS-LINE or write to National Geographic Society, 1145 17th St. N.W., Washington, D.C. 20036-4688.

図1 ハワイ諸島の海底地形
太線で囲まれた範囲が海底地すべり跡

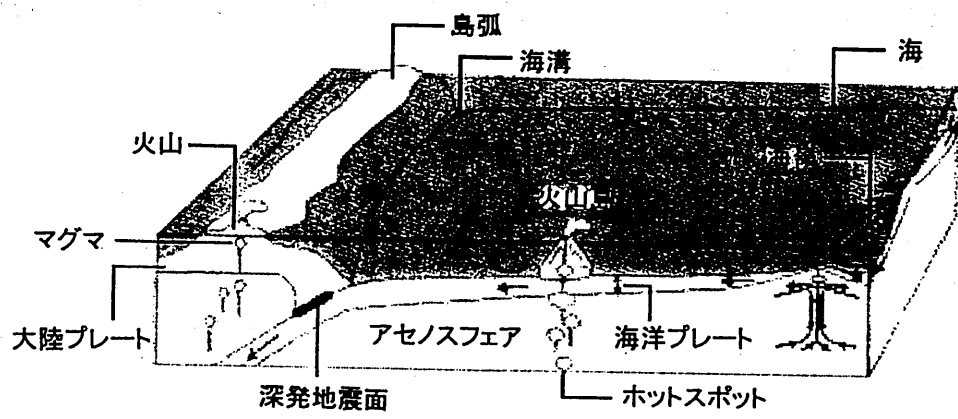


図2 ホットスポットによりハワイ諸島が形成される機構 (文献6)

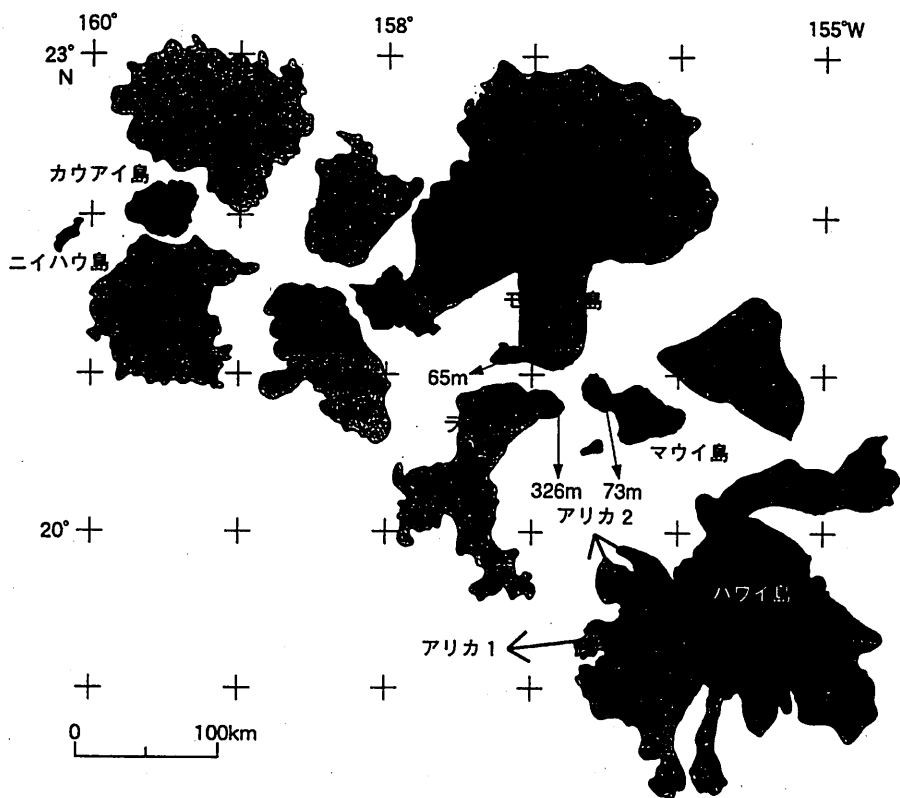


図3 ハワイ諸島と周辺の海底地すべり跡 (文献1)
網目の範囲が海底地すべり跡。地図の数字は津波堆積物が発見された最高の海拔を示す。

ため、しばしば山体の側面で地すべりや土石流・乱泥流が発生する。これによって海底にかなりの岩石が拡散したと予想される』とのことである。

3. 他海域における津波を対象とした深海底調査

1998年7月17日にバブアニューギニアで発生した地震(M7.1)により、高さ10mという大津波がニューギニア島北岸の海岸線を襲い、2000人を越える被災者を出した。地震の規模に比べて波高が高いこと、被害が狭い地域に集中したことなどの特徴から、通常の津波とは異なる発生メカニズムが想定された。「地震断層によって津波が発生したのではなく、地震によって発生した海底地すべりが津波を引き起こしたのではないか」という仮説を確かめるため、1999年1月に深海底調査研究船「かいらい」が派遣された。マルチナロービーム音響測深装置と呼ばれる装置を用いて測量した結果、地すべりと思われる沖に向かって土砂が流出した痕が見つかった。同年2月に深海底探査機「ドルフィン3K」による調査が行われた。その結果地すべりの頂部と思われる水深1500m付近に、東西方向に続く大規模な地割れが発見された。これは、地震断層の起源か、あるいは地すべりの結果生じたものであると解釈された(海洋科学技術センター,1989)。

1971年4月24日に八重山列島で起こった「明和の大津波」と呼ばれるものもある。当時の記録によれば、遡上高は85m、溺死者は1万人を超えたという。この津波の原因も海底地すべりではないかと推測されている。これを確かめるために、1996年10月に曳船式水中カラービデオカメラシステムを用いて調査を行ったところ、黒島海丘の南側急斜面の東端部、水深約1,400m地点において、新鮮で大規模な崩落痕が発見された(海洋科学技術センター)。

4. 津波堆積物

4.1 ラナイ島

今回の巡検ではラナイ島とマウイ島において、津波堆積物とされている海成礫層を観察した(図4)。ラナイ島はオアフ島の南東側、ラナイ島のすぐ南側にある小さな島で、かつてはパイナップル生産のためドール社によって所有されていた。現在ではパイナップルから観光へと主要産業が移り変わろうとしている。ラナイ島にはほとんど信号機がなく、レンタカー会社も雑貨屋と一緒に小さな一軒があるだけであった。しかし、観光ガイドブックによれば、近年では隠れ家的リゾート地であるらしい。

ラナイ島は約130万年前の火山活動でできた島であるが、島の中央低地や南および西海岸の崖の成因について諸説がある。従来は中央低地は山頂カルデラであると考えられていたが、新説によれば、生成当時のラナイ島は現在の3倍程度の体積があったが、大規模な地すべりによって海底に消えた(Hazlett and Hyndman,1996)という(図10・11・12)。

1978年にラナイ島の海拔326mで、スターズ氏により海成礫層が発見され記載されているが、放牧地造成のため破壊されたらしく、現在は残っていない。モア兄弟はマレイネ

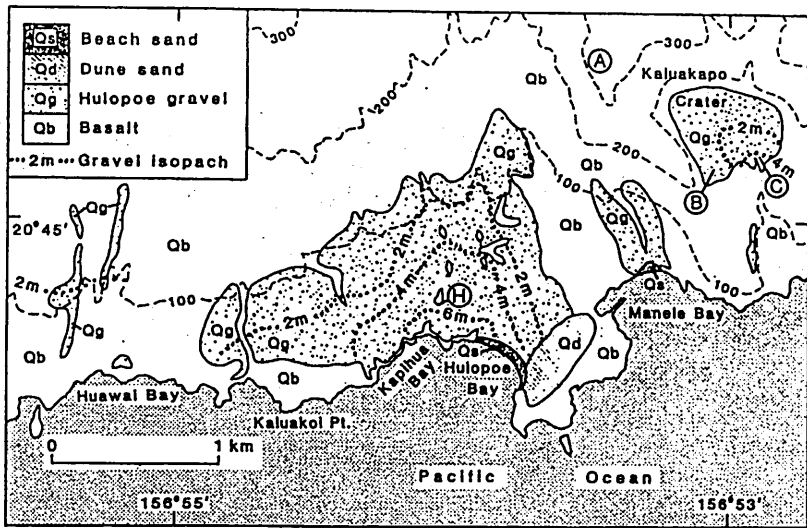


図4 ラナイ島南海岸の地質図(文献3)
 ㊦がフロボエ礫岩の模式地。㊦～㊣はかつての汀線堆積物とされていた露頭。

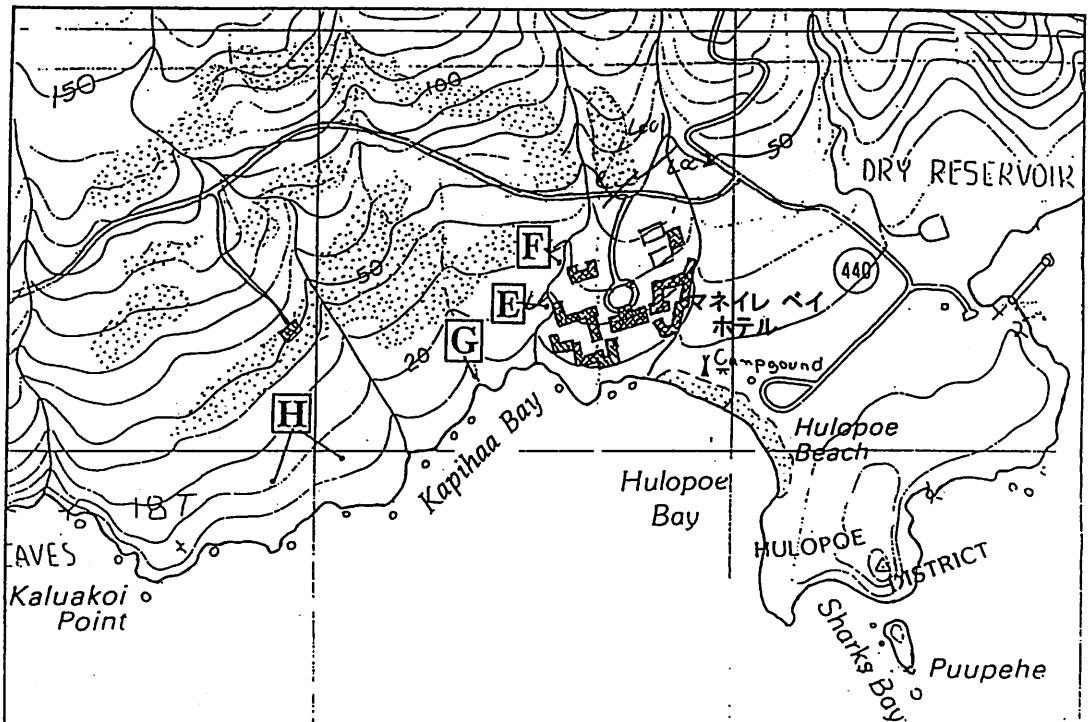


図5 1997年に米国地質学会により催された巡検に使用されたフロボエ湾付近の平面図(文献5)
 ㊦～㊦が当時の観察地点。交差した斜線部がマネイレ ベイ ホテル。ドットで示した範囲がゴルフコース、1マスがkm、コンタ間隔は10m。

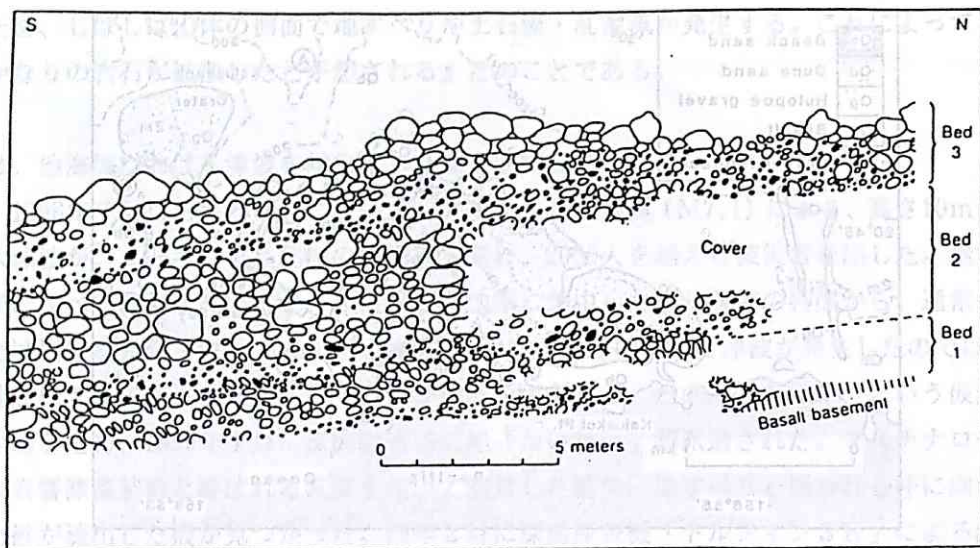


図6 ラナイ島におけるフロボエ礫岩の模式地(図5で示すE地点) (文献5)
 海拔22mで海岸線から200m沢を登る。玄武岩片は白ぬきに、石灰岩片は黒で示した
 (Moore and Moore, 1988)。
 この露頭は3層に分かれ、それぞれの基底にはサンゴの礫が多く分布する。



写真1 図6の対岸の露頭
 全体に海に向かって傾斜しており、サンゴの礫が密集している部分と
 玄武岩礫を主体とした部分とが互層している様子がみえる。

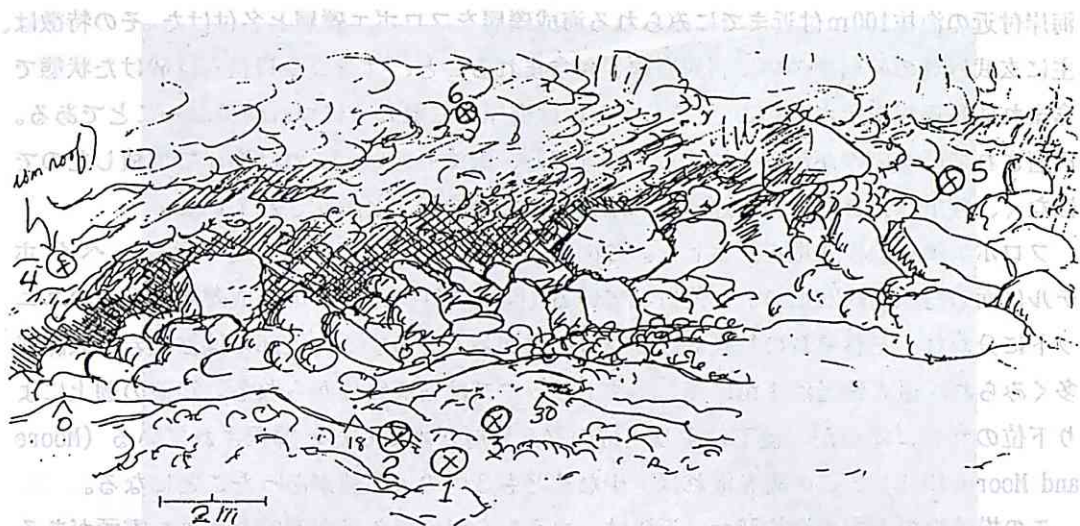


図6の地点よりも約10m高い沢沿いに分布する露頭(F) (文献5) X地点のサンプルの年代がブライアンによって測定されている。



写真2 写真1と同様にサンゴの礫が密集する部分と玄武岩の大礫を主体とする部分に分けられる。基盤の玄武岩溶岩の直上部にはサンゴ礫がみられる。

海岸付近の海拔100m付近までにみられる海成礫層をフロボエ礫層と名付けた。その特徴は、主に玄武岩質の砕屑物の中に石灰質礫岩が含まれること、サンゴや貝化石は砕けた状態で含まれ成長過程を示さないこと、そして層厚は海岸から離れるにつれ薄くなることである。円磨されていない礫が層理をつくらずに堆積し、淘汰も悪い。これは海岸で堆積したのではなく、陸上へ大きな営力で運搬され堆積したことを示すと解釈されている。

フロボエ礫層の模式地を観察した。この露頭は、フロボエ湾に面したマネイレ ベイ ホテルに面した標高約22mの沢に位置している(図6・写真1)。この海成礫層は3つのユニットに分かれ、それぞれの基底にはサンゴの礫が多く分布する。上部には玄武岩の大礫が多くみられ、最大礫径は1mに達し、マトリックスは石灰質砂からなる。津波の遡上により下位のサンゴ礫層が、流下により上位の玄武岩層が堆積したと解釈されている(Moore and Moore, 1988)。この説を取れば、少なくとも3回の大津波があったことになる。

この模式地の上方の海拔30m付近には、ウランを用いて年代が測定された露頭がある(図7・写真2)。この露頭は固結した巨礫からなり、基底にはサンゴの細片が密集している。この露頭も3つのユニットからなり、下部の0.5mの年代は21.4~24.0万年、上部の1.5mは13.3~17.1万年と測定されている(Brydn et al, 1997)(図7・写真2)。

マレイネ ベイ ホテルの北側、海拔50~100m付近は現在ゴルフ場が建設されており、造成中の斜面にはいたる所に石灰質砂岩をマトリックスとした玄武岩の中~大礫が点在している。沢沿いの露頭では基盤となる玄武岩溶岩の上位に、固結したサンゴ混じりの礫層が斜面に沿ってへばりついている様子が観察できる。なお、文献には記載されていないが、海拔200m付近の道路脇にも石灰岩が点在していることを確認した。しかし、これは道路工事によって運ばれた可能性もあり、現位置堆積物とは断定できない。

4.2 マウイ島

マウイ島では最大海拔73mまで海成礫層が分布すると記載されている(G.W.Moore and J.G.Moore, 1988)。図3をたよりにこの礫層を探すことにした。オロワル付近の海拔0~10mに分布する玄武岩の大~巨礫を多量に含む石灰質礫岩の露頭をみると、石灰質砂岩を主体とする部分と玄武岩礫を多く含む部分の互層がみとめられた(写真3・4)。これはラナイ島でみた露頭と類似するが、淘汰がマウイ島のそれにくらべて良く、円磨されていることや、インプリケーションがみられることから、成因が異なっている可能性がある。ただし、海拔50m付近に広がるサトウキビ畑には、玄武岩の礫に混じって石灰質の角礫がまれにみられる。これがモーアたちのいう津波堆積物なのかもしれない。

この地点からさらに南東方向に約10km離れた道路脇に、玄武岩溶岩の上位に少量の石灰質礫を含む玄武岩礫層が認められた。両者の境界付近には、石灰質の薄層がほぼ水平に広がり、下方の玄武岩に向けて脈状にたれ下がっている様子が観察できる。モーアたちによれば、モロカイ島でも類似した露頭がみられ、これを津波堆積物の証拠としているようである(文献2)。



写真3 マウイ島の南西海岸に平行して走る道路脇に分布する海成礫層
、コイミーマスがマトリックスに石灰質な部分を含む。



写真4 写真3の下方斜面。道路下の崖に分布する海成礫層
複数のユニットに区分されるが、全般に淘汰がよく、円磨されている。
かつての海進時の堆積物のようにも思える。

5. 海成礫層の成因についての論点

1997年5月に米国地質学会主催のシンポジウムがハワイ島で開催され、海底地すべりと津波に関して議論された。この時の主な論点は以下のようであった。

- ① 石灰質礫岩（津波堆積物または汀線堆積物）は陸地の沈降と隆起で形成されたのか？
- ② モロカイ島とラナイ島のすべての海成礫層が、1度のイベントで形成されたのか？
- ③ 問題の海成礫層はウランの同位体法によって年代測定が行われてきた（図8）。しかし、単層内の測定年代でもばらつきが大きく、露頭でみる堆積状況をうまく説明できない。これは分析に用いているサンゴを構成するアラレ石に、再結晶した方解石が混入し、測定精度を悪くしているのではないか？

同シンポジウムに参加した地質調査所の佐竹（地質ニュース518号,1997）によれば、論争の様子は次のようであった。モーアと米国本土の研究者は、海成礫層が津波によって運ばれたものと主張した。モーアたちは当初（1988）津波の発生源はラナイ島南西沖の海底地すべりと考えていた。（図9）。その後の陸上と海底の堆積物年代の測定の結果、ハワイ島から西へ延びるアリカ（Alika）地すべりが20～25万年前（ステージ1）と約10万年前（ステージ2）とに発生したことが明らかになり、モロカイ島の堆積物はステージ1に、ラナイ島の堆積物はステージ2によって運ばれたと解釈している。これに対し、ハワイ大学の研究者たちは津波堆積物説に反対する人が多く、ラナイ・モロカイ島が隆起したとの説が出された。

6. おわりに

今回の巡検で見た限りでは、巨大津波により、海底の堆積物が最大で海拔100m以上まで押し上げられたことは現実でありそうだという気がした。海底の地形・地質調査や堆積物の年代測定が進めば、過去に巨大津波が発生した確かな証拠が得られるかもしれない。

日本近海においても、海洋科学技術センターは海底地すべりに起因する大規模津波があったと推定している。日本における津波堆積物の研究は地質調査所などによって始められているが、研究は緒についたばかりである。この説に従えば日本においても、規模の小さい地震でも予測外に大きな津波が発生する危険はある。海底斜面の地質や地形を知ることが、津波による被害予測にも必要なことであろう。

これまでの研究の成果をみれば、海洋における地形・地質調査と陸上における調査が、個別に行われており、こうした研究を進める上で、両者を俯瞰できる科学者の目が必要であると感じた。

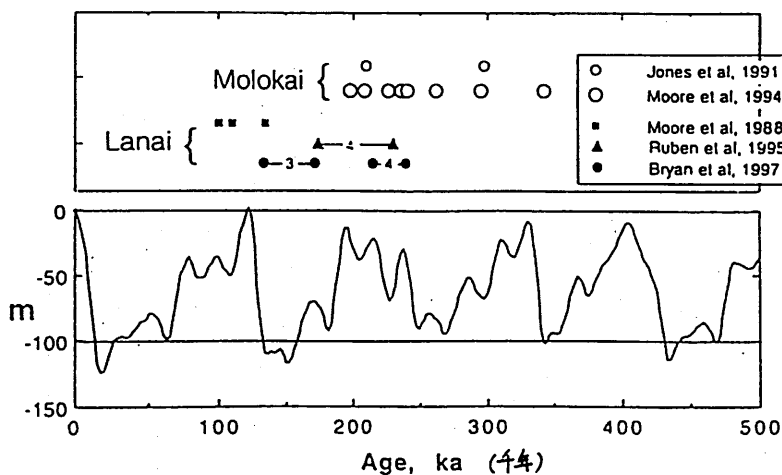


図8 上：モロカイとラナイに分布する海成礫層中のサンゴの年代（文献5）
 ジョーンズらを除き、ウラン法を用いている。ジョーンズらは電子スピン共鳴法を用いている。
 下：深海コアの酸素同位体により求められた海面変化（Imbrie et al., 1984）
 現在の海面を0mとして表示する。最終氷期には現在よりも120m海面が世界的に低下したと考えられている。

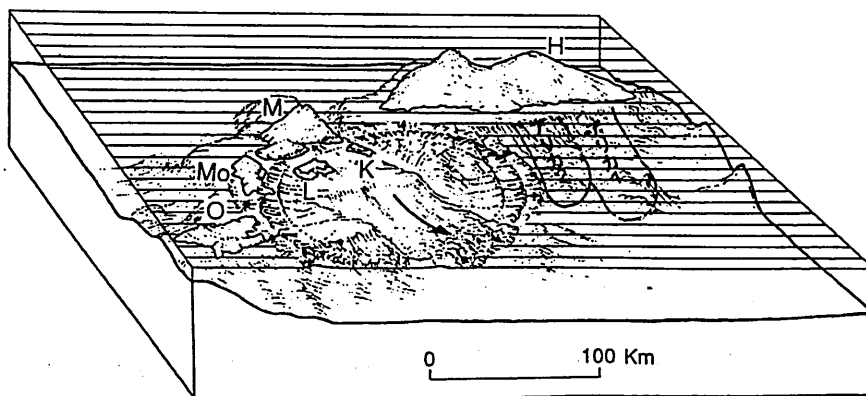


図9 ラナイ海底地すべり（大きな矢印）によって生じた津波（小さな矢印）が海面を伝わる様子を斜面上方から表した図（文献4に加筆）。波の前面はラナイ（r）とカホラエ（k）を通過し終わったところ。ハワイにはまだ達していない。Tau Rho Alphaの図を引用した。

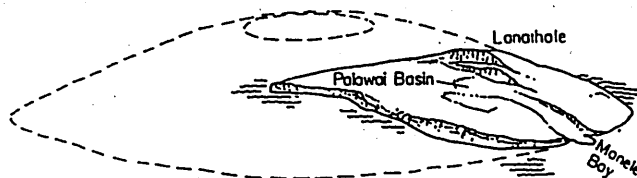


図10 ラナイがもっと大きな火山島であったことを示す図（文献5）
 火山島の多くは地すべりによって失われた（Hazlett, and Hyndman, 1996）。

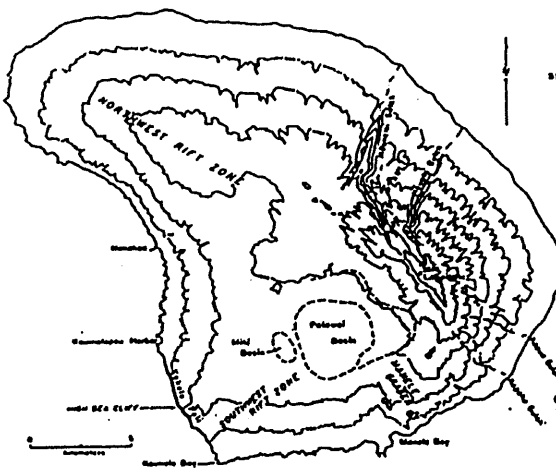


図11 ラナイ島の地形区分図
最高地点は海拔1027m

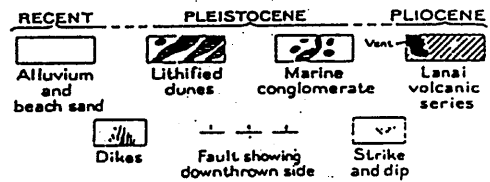
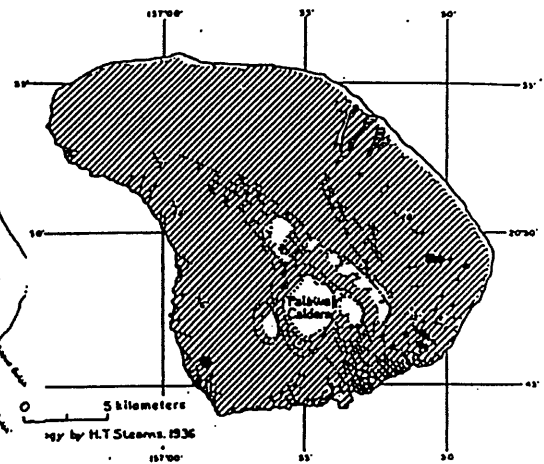


図12 ラナイ島の地質図 (Stearns, 1940c.) (文献5)

引用文献

- 1) 佐竹健治 (1997) 地質ニュース518号, P21-28
- 2) Moore, J.G., Bryan, W.B., and Ludwig, K.R., 1994, Chaotic deposition by giant wave, Molokai, Hawaii: Geological Society of America Bulletin, Vol. 106, P962-967.
- 3) Moore, J.G., and Moore, G.W., 1984, Deposit from a giant wave on the Island of Lanai, Hawaii: SCIENCE, Vol. 226, P1312-1315
- 4) Moore, G.W., Moore, J.G., 1988, Large-scale bedforms in boulder gravel produced by giant waves in Hawaii: Geological society of America, special paper 229, P101-108.
- 5) Rodey, B., Patty, L., and Floyd, M., (Editor) 1997, Field Trip Guide Molokai and Lanai, Maui and Hawaii: Geological Society of America, 93rd Annual Cordilleran Section Meeting, Kailua-Kona, Hawaii.
- 6) 海洋科学技術センター深海研究部ホームページ: <http://www.sw.nec.co.jp>
- 7) 海洋科学技術センターホームページ: <http://www.gk2.jdmstec.go.jp>